

内蒙古温带草原区植被盖度变化 及其与气象因子的关系

许旭, 李晓兵*, 梁涵玮, 黄玲梅

(地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京师范大学资源学院, 北京 100875)

摘要: 利用 1982—1999 年内蒙古地区 NOAA/AVHRR 的 NDVI 数字遥感影像, 对内蒙古温带草原区植被盖度进行了反演, 探讨了近 20a 来温带草原植被盖度的变化情况, 并对植被盖度与不同组合方式的降水及气温数据进行了相关分析, 探讨了植被盖度与气象因子的关系。结果表明: ①近 20a 来温带草原植被盖度呈上升趋势, 占总面积 72% 的草原植被盖度发生了增长, 3 种不同草原类型中典型草原盖度上升趋势最为明显; ②温带草原生长季平均盖度、逐月盖度与降水成正相关关系, 与气温呈负相关关系, 其中降水对盖度的影响存在着时滞及累积效应; ③3 种草原类型植被盖度对气象因子的敏感性不同, 荒漠草原植被盖度与气温和降水相关性最强, 其次为典型草原与草甸草原。

关键词: 温带草原; 植被盖度; 降水; 气温

Change in vegetation coverage and its relationships with climatic factors in temperate steppe, Inner Mongolia

XU Xu, LI Xiaobing*, LIANG Hanwei, HUANG Lingmei

State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Beijing Normal University, College of Resources Science & Technology, Beijing 100875, China

Abstract: Vegetation coverage is an important physiological parameter for describing the growing status of vegetation, and plays a key role in some ecological processes such as evapotranspiration, soil erosion, and photosynthesis etc. So vegetation coverage is considered to be an important indicator of ecosystem change. In this paper, the temperate steppe of Inner Mongolia was chose as study area, and following two questions were brought forward and expected to be solved: (a) how were the changes in vegetation coverage happened temporally and spatially? (b) What kinds of relationships exist between vegetation coverage changes and some climatic factors, including air temperature and precipitation? In order to understand these two questions, the NDVI product images of NOAA/AVHRR were used to calculate vegetation coverage in temperate steppe of Inner Mongolia from 1982 to 1999, and then correlation coefficients between vegetation coverage and climate factors were calculated. Climatic factors were combined into different patterns based on the observed time periods and time lags for finding out the temporal responses of vegetation coverage to climate fluctuation or change. The main findings were as follows: (a) Increasing trend of vegetation coverage in whole study area is clearly during last 18 years. The vegetation coverage in 72% of total area has been increased during last 18 years, and the most obvious increase was occurred in the typical steppe areas among three types of steppe; (b) The average vegetation coverage of growing season and monthly vegetation coverage have positive correlation with precipitation, and negative correlation with temperature. The impacts of precipitation on vegetation coverage show in time-delay and cumulative effects. (c) The sensitivities of vegetation coverage to climate factors were different among three kinds of steppes, and vegetation coverage was most strongly related to climate factors in desert steppe.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30970513); 国家高技术发展研究计划(863 计划)资助项目(2006AA120108)

收稿日期: 2009-06-08; **修订日期:** 2010-01-04

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xbli@ires.cn

Key Words: temperate steppe; vegetation coverage; precipitation; temperature

目前开展的全球变化研究中,气候变化对陆地生态系统的影响及其反馈一直是焦点和最为活跃的项目之一^[1-3]。在众多研究方法中,通过对地表植被覆盖的研究来揭示气候变化与陆地生态系统的关系较为常见和经典^[4-8]。这是因为地球大部分地区被自然植被所覆盖,而植被是连接大气圈、土壤圈、水圈的纽带,气候的变化会反映在植被的覆盖度、NPP、生物量、叶面积指数等生理参数上,引起参数值的变化。因此,植被在全球变化研究中起着“指示器”的作用,对植被的动态监测可以在一定程度上反映气候的变化,揭示全球气候变化的规律^[9-10]。

植被盖度 (Vegetation coverage, VC) 是植被重要的生理参数,能够直观的反映地表植被的丰度,同时它也是生态系统中一个重要的控制因子,对蒸散、土壤侵蚀、光合作用过程等起着重要的控制作用^[11],是指示生态系统变化的重要指标。基于遥感数据进行大面积、长时间序列的植被盖度反演,探讨其变化规律及与气象因子的关系,对于全球变化研究具有重要的意义。

1 研究区及数据源

1.1 研究区及气象站点选择

研究区为我国内蒙古自治区温带草原区,本区是我国温带草原的主要及典型分布区,年降水量在 100—400mm 之间,自东向西逐步减少,蒸发量则相反。气候带呈带状分布,自东向西由湿润、半湿润区逐步过渡到半干旱、干旱区。相应的,草原类型也自东向西划分为内蒙古东部大兴安岭西侧的草甸草原、内蒙古中部的典型草原及中西部的荒漠草原。如图 1 所示。温带草原及 3 种草原类型的边界由张新时主编的《1:1000000 中华人民共和国植被图》^[12] 数字化而来。

在气象站点的选择上,遵循了等量与均匀分布原则,每种草原类型选择了 4 个在本类型中分布均匀的代表站点。对于朱日和、西乌珠穆沁旗等几个处于草原类型交界处的站点,根据气象站点所测数据的空间有效距离为站点周围半径 10km^[13-14] 原理,对站点进行了半径为 10km 的缓冲区分析,以缓冲区中所占面积较大者作为该站点所在的草原类型。在如图 1 及表 1 所示。

表 1 各草原类型对应气象站点位置

Table 1 Location of weather stations corresponding to different steppe types

草原类型 Steppe types	站点编号 No.	站点名称 Weather stations	经度 Longitude	纬度 Latitude
草甸草原 Meadow steppe	1	扎鲁特旗	120°54'E	44°34'N
	2	西乌珠穆沁旗	117°36'E	44°35'N
	3	海拉尔	119°45'E	49°13'N
	4	乌兰浩特	122°03'E	46°05'N
典型草原 typical steppe	5	新巴尔虎左旗	118°16'E	48°13'N
	6	新巴尔虎右旗	116°49'E	48°40'N
	7	东乌珠穆沁旗	116°58'E	45°31'N
	8	阿巴嘎旗	114°57'E	44°01'N
荒漠草原 Desert steppe	9	那仁宝力格	114°09'E	44°37'N
	10	朱日和	112°54'E	42°24'N
	11	二连浩特	111°58'E	43°39'N
	12	满都拉	110°08'E	42°32'N

1.2 数据来源

采用了 NOAA AVHRR 的 NDVI 影像,时间为 1982 年—1999 年采用最大值合成法 (Maximum Value Composites, MVC) 生成的逐旬数据^[15-17],分辨率为 8km,来自美国地球资源观测系统 (Earth resources observation system, EROS) 数据中心的探路者数据库。该数据库在建立的过程中对影像进行处理,包括大气

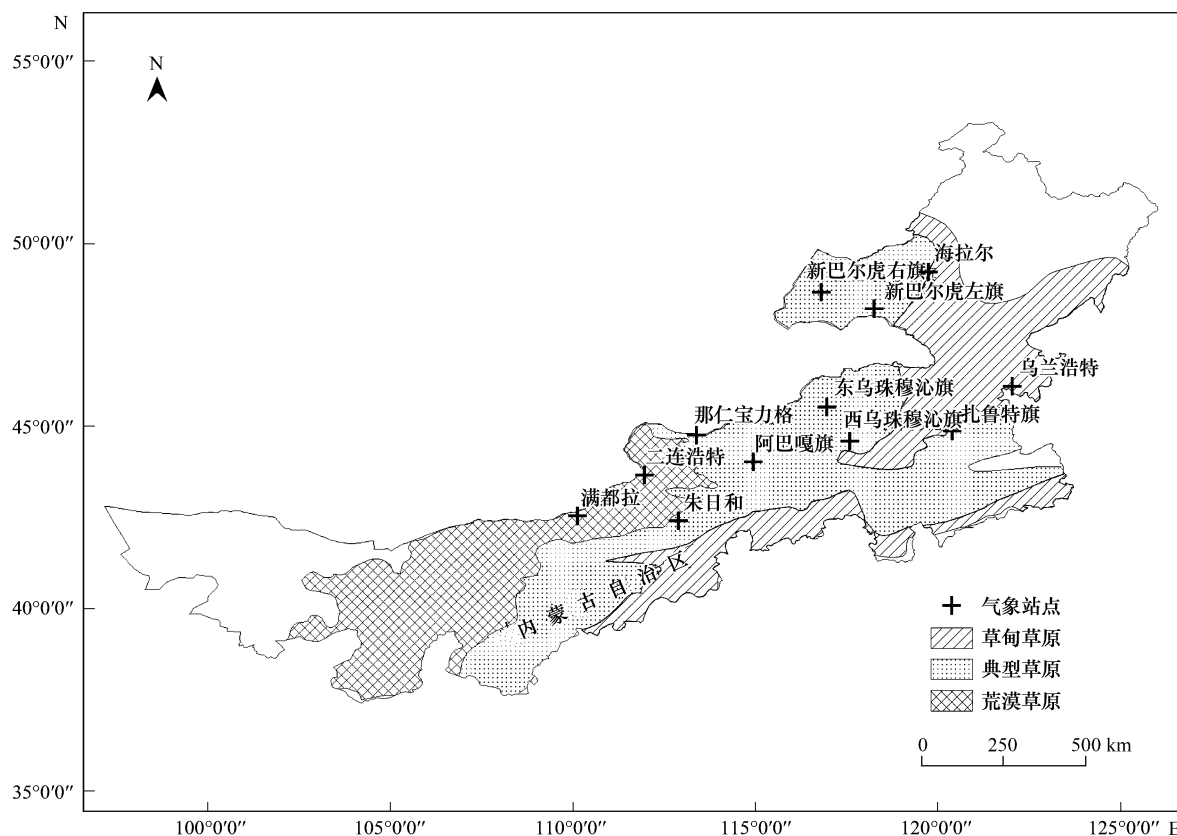


图1 内蒙古荒漠草原区及气象站点分布图

Fig. 1 Study area and locations of weather stations

纠正、图像配准、去云处理等,所用方法均为国际上公认的可靠方法^[18-19]。同期气象数据为1982年1月至1999年12月逐旬降水和气温数据,来源于中国国家气象局。

2 数据处理及分析

2.1 数据预处理

将每月3旬的NDVI数据进行平均值的求取,建立月NDVI值的时间序列数据。将每月3旬的降水数据及气温数据分别进行加和及平均值的求取,建立月总降水及月均温的时间序列数据。

2.2 植被盖度的反演

植被盖度的反演采用了经典的亚像元分解模型。该模型将像元按其亚像元类型分为“均一像元”和“混合像元”两类。均一像元是指完全被植被覆盖的像元,而本研究所采用的NOAA影像分辨率较低,所有像元几乎都为混合像元^[20]。对于混合像元,Gutman等人研究,植被盖度与NDVI值存在以下关系:

$$f_g = \frac{NDVI - NDVI_0}{NDVI_g - NDVI_0}$$

式中, $NDVI_0$ 为裸土的NDVI值, $NDVI_g$ 取值则与叶面积指数LAI以及草地消光系数K有关。植被盖度具体算法流程参见参考文献^[21]。

目前对于低分辨率影像反演的植被盖度的精度验证,一般是借用同区域较高分辨率的影像,结合地表实测数据进行评价。由于数据的缺乏,采用了荒漠草原苏尼特右旗草场监测站的草原植被盖度多年监测数据,对同一像元内多个监测点数据取平均后,与经反演的盖度值进行了相关分析,结果表明相关性显著,因此认为本模型适用于研究区内植被盖度的求取。

2.3 植被盖度与气象因子的相关分析

对植被盖度与气象因子进行相关分析,采用t检验进行显著性检验。考虑到气象站所测数据的空间有效

距离为半径 10km 区域,将站点所在像元的盖度值与周围 9 个像元的盖度值进行了加和平均。

分析采用了两种盖度模式,即整个生长季内的平均盖度以及生长季逐月的平均盖度。前者反映的是逐年生长季内盖度平均状况,后者则反映了单个生长季内逐月的植被盖度状况。同时气象因子也采用了多种组合模式,考虑了时滞、累积效应^[22-23]以及生长季不同时期、不同季节的组合(表 2)。

表 2 气象因子的组合方式

Table 2 Different combinations of Meteorological factors

盖度 Vegetation coverage (VC)	气象因子 Meteorological factors	时滞期 Time lag	降水代码 Precipitation code	温度代码 Temperature code
逐年生长季(4—9 月份)平均盖度 Average coverage of annual growing season (April to September)	逐年生长季同期降水、气温(4—9 月份) 逐年生长季前一月降水、气温(3—8 月份) 逐年生长季前两月降水、气温(2—7 月份) 生长季初期降水、气温(4、5 月份) 生长季中期降水、气温(6、7 月份) 生长季后期降水、气温(8、9 月份) 上一年冬季降水、气温(12、1、2 月份) 同年春季降水、气温(3、4、5 月份) 同年夏季降水、气温(6、7、8 月份)	0 1 2 — — — — — —	Pg0 Pg1 Pg2 Pgi Pgm Pgl Pgw Pgsp Pgsp	Tg0 Tg1 Tg2 Tgi Tgm Tgl Tgw Tgsp Tgsp
逐年逐月平均盖度 Average coverage of each month in growing season	逐年逐月同期降水、气温 逐年前 1 个月降水、气温 逐年前 2 个月降水、气温 逐年本月及前 1 个月降水、气温 逐年前 1 个月及前 2 个月同期降水、气温	0 1 2 0 + 1 1 + 2	Pm0 Pm1 Pm2 Pm01 Pm12	Tm0 Tm1 Tm2 Tm01 Tm12

3 结果与分析

3.1 温带草原植被盖度空间分布

图 2 为研究期间内蒙温带草原区植被平均盖度的空间分布状况。盖度变化范围在 1.1% 到 89.8% 之间,由东北至西南逐渐降低,最高值出现在大兴安岭西侧的草甸草原,最低值出现在阿拉善盟的荒漠草原,中部典型草原区植被盖度则介于最大值与最小值之间。这种分布特点与整个内蒙地区东部水热条件优于西部的分布趋势一致。

3.2 温带草原生长季植被盖度年际变化特征

图 3 和表 3 是 1982—1999 年间温带草原区植被平均盖度总体变化情况。温带草原植被平均盖度值为 44.5%,最大值出现在 1994 年,为 46.7%,最小值出现在 1986 年,为 40.4%;80 年代植被盖度的变化幅度较大,年际间变动剧烈,而 90 年代盖度的变化较为平缓。整个温带草原及 3 种草原类型植被盖度呈微小的上升趋势,其中典型草原是 3 种草原类型中盖度相对增加最快的。植被盖度的标准差均较小,说明植被盖度变化均较为平缓,幅度较小。

表 3 内蒙古温带草原区 1982—1999 年植被平均盖度变化情况

Table 3 Vegetation coverage changes in temperate steppe, meadow steppe, typical steppe and desert steppe, Inner Mongolia, 1982—1999

草原类型 Steppe type	盖度 Vegetation Coverage				
	最大值/% Max	最小值/% Min	均值/% Mean	标准差 Standard deviation	线性拟合斜率 Slope
草甸草原 Meadow steppe	68.5	59.5	65.2	0.022	0.0014
典型草原 Typical steppe	47.7	40.2	44.7	0.024	0.0018
荒漠草原 Desert steppe	22.7	17.2	20.1	0.015	0.0006
温带草原 Temperate steppe	46.7	40.4	44.5	0.019	0.0015

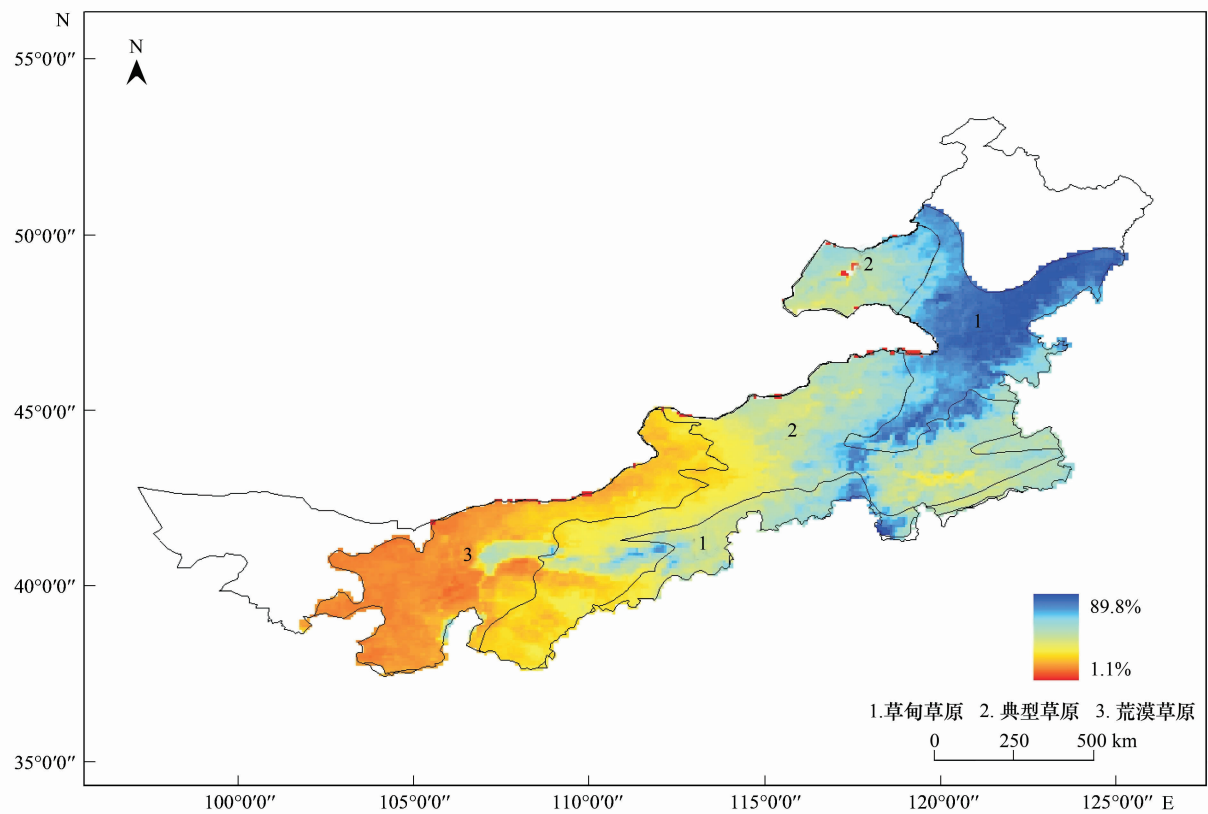


图2 内蒙古温带草原区 1982—1999 植被盖度平均分布图

Fig. 2 Distribution of vegetation coverage in steppe, Inner Mongolia, 1982—1999

3.3 温带草原逐年生长季平均盖度线性趋势的空间分布

对逐个像元的逐年盖度值与年份进行了一元线性回归,线性拟合斜率大于零则认为该像元处植被盖度值是逐年增加的,小于零则认为该像元处植被盖度值是逐年减少的,若通过 0.05 水平的显著性检验,则认为增加或减少的趋势是显著的。

逐像元线性拟合的结果如图 4 所示。盖度显著增加的地区主要分布在典型草原东部科尔沁沙地以西的西拉木伦河、老哈河流域,北部东乌珠穆沁旗、新巴尔虎左旗一带,西南鄂尔多斯高原以及荒漠草原中部的后套平原。盖度显著减少的区域为草甸草原的东北部及典型草原的东部小范围地区。表 4 显示了温带草原生长季平均盖度变化的面积,1982 至 1999 年有近 59.8 万 km²,占整个温带草原总面积 72% 的区域植被盖度呈现增加趋势,其中盖度显著增加的面积为 19.7%。植被盖度增加与显著增加的面积均大于盖度减少与显著减少的面积。

表 4 内蒙古温带草原区 1982—1999 年植被盖度变化面积

Table 4 Areas of vegetation coverage changes in temperate steppe from 1982 to 1999, Inner Mongolia

草原类型 Steppe type	盖度 Vegetation coverage							
	增加面积 Areas of VC increased /(km ²)	占总面积 Ratio of total area/%	显著增加面积 Areas of VC increased significantly /(km ²)	占总面积 Ratio of total area /%	减少面积 Areas of VC decreased /km ²	占总面积 Ratio of total area/%	显著减少面积 Areas of VC decreased significantly /km ²	占总面积 Ratio of total area
草甸草原 Meadow steppe	174720	72.4	48640	20.2	66624	27.6	9152	3.8
典型草原 Typical steppe	286912	76.2	101376	26.9	89792	23.8	12416	3.3
荒漠草原 Desert steppe	135936	64.4	12928	6.1	75008	35.6	1536	0.7
温带草原 Temperate steppe	597568	72.1	162944	19.7	231424	27.9	23104	2.8

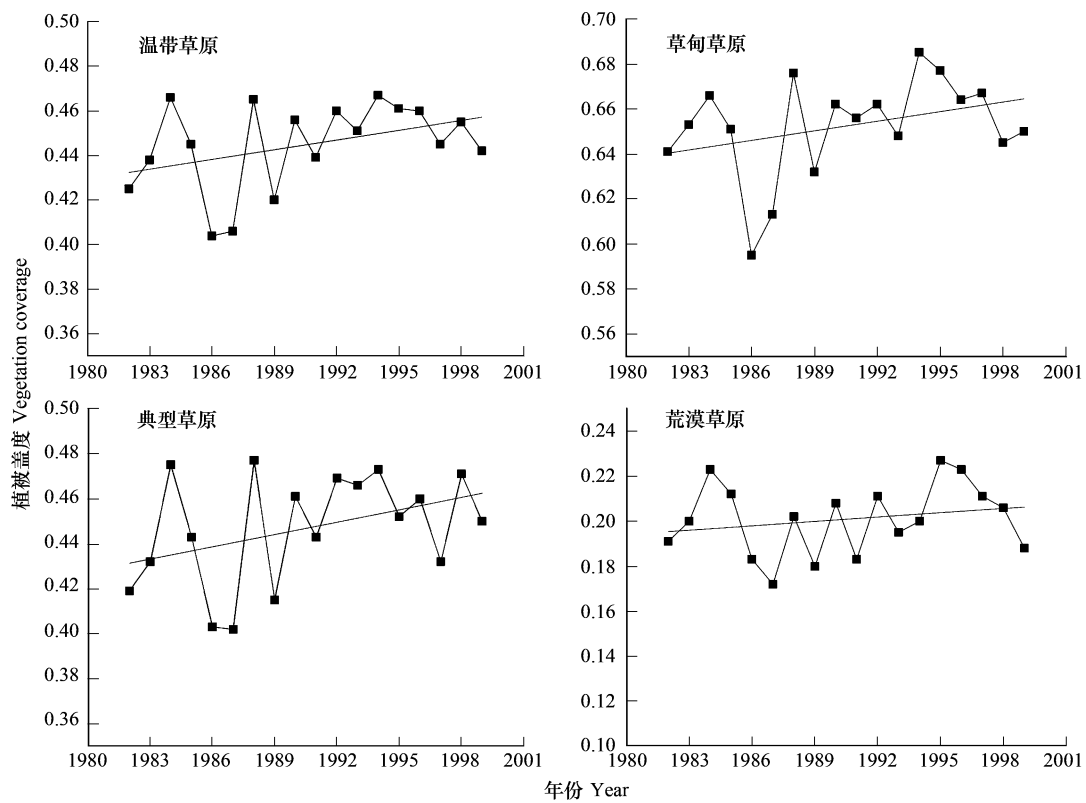


图3 内蒙古地区1982—1999年生长季平均植被盖度变化曲线

Fig. 3 Vegetation coverage changes in temperate steppe, meadow steppe, typical steppe and desert steppe, Inner Mongolia, 1982—1999

3.5 逐年生长季平均盖度与气象因子相关分析

表5和表6为逐年生长季平均盖度与气象因子相关分析结果。

表5 内蒙古温带草原区生长季平均盖度与降水相关系数

Table 5 Correlation coefficients of Precipitation and average vegetation coverage during growing season in temperate steppe, Inner Mongolia

草原类型 Steppe type	Pg0	Pg1	Pg2	Pgi	Pgm	Pgl	Pgw	Pgsp	Pgsu
草甸草原 Meadow steppe	0.165	0.144	0.238 *	0.175	0.218 *	-0.061	0.195	0.170	0.119
典型草原 Typical steppe	0.529 **	0.511 **	0.452 **	0.005	0.508 **	0.387 **	-0.061	-0.007	0.547 **
荒漠草原 Desert steppe	0.754 **	0.722 **	0.679 **	0.253 *	0.681 **	0.433 **	0.058	0.220 *	0.721 **
温带草原 Temperate steppe	0.646 **	0.613 **	0.617 **	0.411 **	0.594 **	0.403 **	0.186 **	0.414 **	0.587 **

* : $P < 0.05$ * * : $P < 0.01$

从表5可以看出,整个温带草原生长季平均植被盖度对降水十分敏感,与各种降水组合均呈现出很强的正相关关系,所有相关系数均通过了0.01水平的显著性检验,说明降水对温带草原生长季植被平均盖度的影响很大。降雨对温带草原生长季植被平均盖度影响的时滞效应并不显著。而生长季中期以及夏季降雨对温带草原生长季平均植被盖度具有决定性的影响。

典型草原与荒漠草原生长季平均植被盖度与降水表现出极强的正相关性,但降水对盖度的影响没有明显的时滞效应。与整个温带草原相同,生长季中期降水与夏季降水对两种草原类型生长季植被平均盖度的影响最大。

草甸草原生长季平均植被盖度对降水的敏感性不强,且表现出了2个月的时滞效应。仅中期降水与盖度的相关性通过了显著性检验,而季节降水与盖度的相关性均不明显。

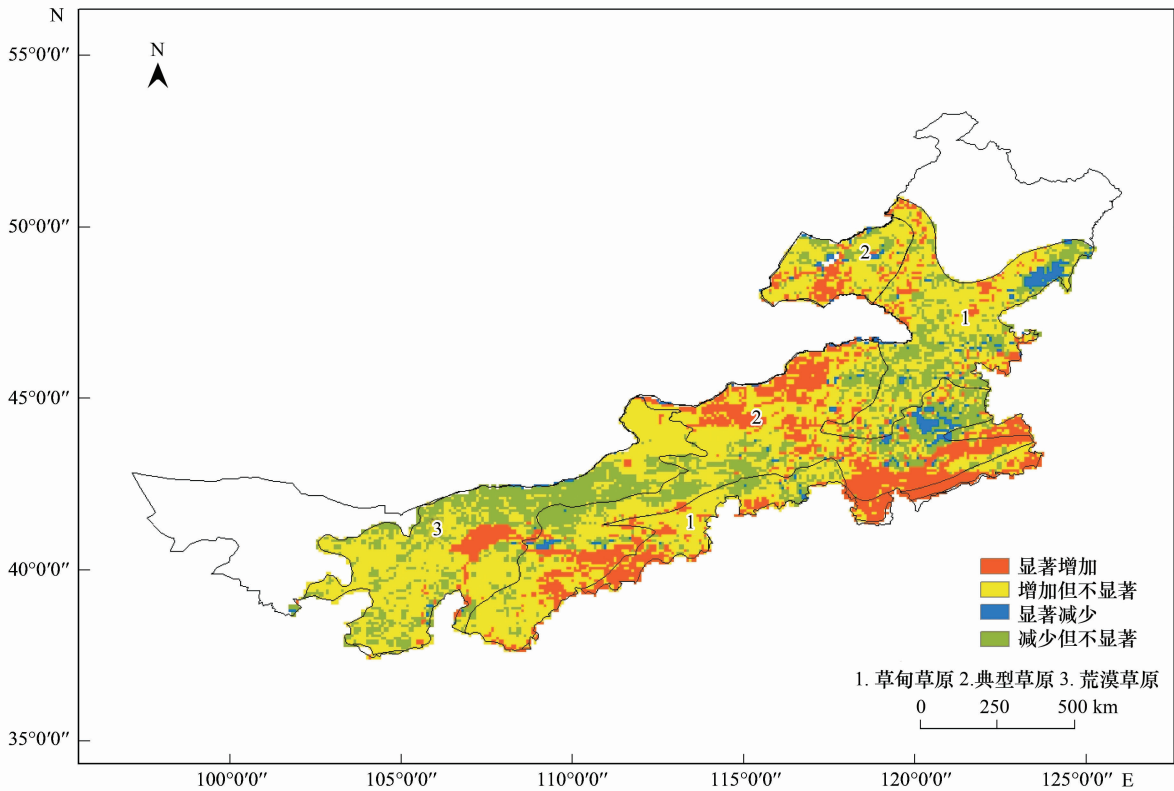


图 4 内蒙温带草原区 1982—1999 年生长季平均盖度年际变化空间分布格局

Fig. 4 The Spatial distribution pattern of temperate steppe vegetation coverage during growing season from 1982 to 1999, Inner Mongolia

表 6 内蒙古温带草原区生长季平均盖度与气温相关系数

Table 6 Correlation coefficients of temperature and average vegetation coverage during growing season in temperate steppe, Inner Mongolia

草原类型 Steppe type	Tg0	Tg1	Tg2	Tgi	Tgm	Tgl	Tgw	Tgsp	Tgsu
草甸草原 Meadow steppe	0.025	-0.204 *	-0.220 *	-0.160	-0.133	-0.135	-0.134	-0.216 *	-0.157
典型草原 Typical steppe	-0.403 **	-0.119	-0.017	0.032	-0.018	-0.052	0.114	-0.062	-0.110
荒漠草原 Desert steppe	-0.908 **	-0.778 **	-0.699 **	-0.086	-0.180	-0.427 **	-0.092	-0.656 **	-0.780 **
温带草原 Temperate steppe	-0.416 **	-0.305 **	-0.292 **	0.039	-0.143 **	-0.457 **	-0.026	-0.257 **	-0.311 **

* : $P < 0.05$ * * : $P < 0.01$

由表 6 分析得知,温带草原生长季平均盖度与气温呈负相关关系,但与降水相比,这种相关性较小,说明盖度对气温的敏感性要小于对降水的敏感性。生长季的后期与夏季的高温则显著的抑制了温带草原生长季平均盖度的增加。

荒漠草原生长季平均盖度与气温之间表现出较强的负相关性,与同期零时滞的均温的相关系数高达 -0.908。生长季后期的均温与夏季均温是同组气温组合方式中与盖度相关性最大的。荒漠草原地区水分条件较差,水分是植被生长的限制性因子,而较高的气温增加了植被蒸腾和土壤蒸发,影响了植被的生长及盖度的增加。

典型草原与草甸草原的生长季平均植被盖度与气温的相关性不显著,仅个别相关系数通过了显著性检验。两种草原类型的水分条件均优于荒漠草原,高温对植被可利用水分的影响不及荒漠草原明显,因此气温与盖度之间没有表现出明显的相关性。

3.6 生长季逐月平均盖度与气象因子的相关分析

表 7 和表 8 为生长季逐月平均盖度与气象因子相关分析的结果。

表 7 内蒙古温带草原区生长季逐年逐月平均盖度与降水相关系数

Table 7 Correlation coefficients of precipitation and monthly average vegetation coverage in temperate steppe, Inner Mongolia

草原类型 Steppe type	月份 Month	Pm0	Pm1	Pm2	Pm01	Pm12
草甸草原 Meadow steppe	4	0.332 **	-0.185	-0.156	0.287 **	-0.235 *
	5	-0.060	0.127	-0.211 *	0.015	0.070
	6	-0.093	0.128	0.135	-0.028	0.170
	7	0.076	0.150	0.070	0.122	0.169
	8	0.254 *	0.458 **	0.347 **	0.468 **	0.503 **
	9	0.126	0.400 **	0.376 **	0.410 **	0.485 **
典型草原 Typical steppe	4	0.056	-0.126	-0.094	-0.033	-0.131
	5	0.022	0.090	-0.196 *	0.056	-0.049
	6	0.082	0.290 **	0.190	0.213 **	0.328 **
	7	0.448 **	0.167	0.012	0.451 **	0.128
	8	0.410 **	0.586 **	0.046	0.606 **	0.509 **
	9	0.257 *	0.505 **	0.519 **	0.534 **	0.627 **
荒漠草原 Desert steppe	4	0.156	-0.086	0.091	0.075	-0.023
	5	0.340 **	0.290 **	-0.012	0.385 **	0.235 **
	6	0.419 **	0.508 **	0.230 *	0.609 **	0.497 **
	7	0.538 **	0.571 **	0.316 **	0.700 **	0.631 **
	8	0.379 **	0.766 **	0.365 **	0.757 **	0.806 **
	9	0.130	0.616 **	0.572 **	0.638 **	0.772 **
温带草原 Temperate steppe	4	0.316	-0.030	-0.047	0.247 **	-0.042
	5	0.307 **	0.293 **	0.003	0.375 **	0.243 **
	6	0.399 **	0.418 **	0.308 **	0.508 **	0.471 **
	7	0.488 **	0.501 **	0.343 **	0.578 **	0.558 **
	8	0.354 **	0.592 **	0.492 **	0.598 **	0.653 **
	9	0.408 **	0.443 **	0.546 **	0.536 **	0.615 **

* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$

表 7 表明,整个温带草原生长季逐月盖度与降水相关性显著。随着生长季的推进,植被盖度对降水愈加敏感,且时滞性越来越明显,生长季初期盖度与本月降水相关性最强,而中后期上一月降水与盖度的相关性最大,时长为 2 个月的降水累积值也体现了类似的规律。而植被盖度与降水累积值的相关系数均大于与单月降水的相关系数,表明降水对盖度影响存在明显的累积效应。

草甸草原生长季后期植被盖度对降水敏感。8、9 月份植被盖度分别与前 1 月降水、前 2 月降水均显著相关,其中前 1 个月的降水与盖度相关性最强;与时长为 2 个月的累积降水的相关性均强于与单月降水的相关性,累积效应明显;与前 2 月降水的相关性大于与本月及上月降水的相关性,也表现出了显著的时滞效应。而生长季初期和中期植被盖度与降水的关系不大。

典型草原生长季中后期植被盖度对降水敏感。从 7 月份到 9 月份,与植被盖度相关性最强的分别为本月、前 1 个月及前 2 个月的降水,表明越接近生长季后期,降水对植被盖度影响的时滞效应越明显;降水的累积值与中期及后期植被盖度显著正相关,且最大值大于与单月降水相关系数的最大值,累积效应显著。

荒漠草原整个生长季植被盖度对降水均表现出较高的敏感性。生长季初期植被盖度与本月降水的相关性最大,而中后期这种影响则表现出强烈的时滞效应。降水的累积值对植被盖度影响更为显著,除 4 月份外,其他各月植被盖度与 2 个月降水累积值的相关性均通过了显著性检验;生长季初期和中期,本月及上月降水对盖度的影响更强,而后期盖度对前两个月降水更为敏感。

表 8 表明,温带草原生长季逐月盖度与逐月气温显著负相关关系,但相关程度小于与降水的相关性,且不存在明显的时滞性和累积性。这说明与降水相比,盖度对气温较不敏感,且气温的影响时效性较强。

表 8 内蒙古温带草原区生长季逐年逐月平均盖度与气温相关系数

Table 8 Correlation coefficients of temperature and monthly average vegetation coverage in temperate steppe, Inner Mongolia

草原类型 Steppe type	月份 Month	Tm0	Tm1	Tm2	Tm01	Tm12
草甸草原 Meadow steppe	4	0.161	0.198 *	0.106	0.165	0.197 *
	5	-0.059	-0.261 *	-0.305 **	-0.177	-0.309 **
	6	-0.430 **	-0.394 **	-0.516 **	-0.456 **	-0.484 **
	7	-0.320 **	-0.302 **	-0.283 **	-0.326 **	-0.324 **
	8	0.218 **	0.281 **	0.297 **	0.265 *	0.303 **
	9	0.285 **	0.135	0.144	0.226 *	0.148
典型草原 Typical steppe	4	0.056	0.111	-0.041	-0.001	0.113
	5	0.014	-0.297 **	-0.400 **	-0.221 *	-0.450 **
	6	-0.160	0.111	-0.116	-0.053	0.053
	7	0.042	-0.099	0.125	-0.005	0.012
	8	-0.314	-0.030	0.001	-0.213 *	0.001
	9	0.302 **	-0.337 **	-0.007	-0.039	-0.211 *
荒漠草原 Desert steppe	4	-0.531 **	-0.485 **	-0.555 **	-0.588 **	-0.553 **
	5	-0.623 **	-0.415 **	-0.568 **	-0.561 **	-0.584 **
	6	-0.683 **	-0.516 **	-0.365 **	-0.665 **	-0.479 **
	7	-0.671 **	-0.697 **	-0.603 **	-0.723 **	-0.722 **
	8	-0.691 **	-0.615 **	-0.579 **	-0.705 **	-0.631 **
	9	-0.435 **	-0.772 **	-0.614 **	-0.718 **	-0.748 **
温带草原 Temperate steppe	4	-0.099	-0.081	-0.165 **	-0.098	-0.133 *
	5	-0.224 **	-0.243 **	-0.331 **	-0.262 **	-0.329 **
	6	-0.344 **	-0.250 **	-0.235 **	-0.345 **	-0.270 **
	7	-0.307 **	-0.281 **	-0.221 **	-0.318 **	-0.291 **
	8	-0.203 **	-0.242 **	-0.183 **	-0.251 **	-0.232 **
	9	-0.180 **	-0.272 **	-0.283 **	-0.255 **	-0.309 **

* : $P < 0.05$ * * : $P < 0.01$

草甸草原生长季 5、6、7 月份植被盖度与气温呈现出负相关关系,此时草甸草原降水量还没有达到全年的最高值,较高的气温会增加蒸发从而减少植被可利用水量,因此在一定程度上抑制了植被盖度的增加。而到了 8、9 月份,降水量逐渐增大,植被生长所需水分充沛,此时较高的气温有利于植被的生长。草甸草原气温对盖度影响的时滞性及累积效应不明显。

典型草原生长季逐月植被盖度与气温的相关性不强,仅有个别月份盖度与某时段气温的相关性通过了显著性检验,没有较明显的规律性。

荒漠草原生长季逐月盖度与逐月气温相关性显著,所有相关系数均通过了 0.01 水平的显著性检验。荒漠草原降水量稀少,整个生长季中水分都是植被生长的限制性因子,较高的气温通过减少植被可利用水分而对植被的生长产生影响,因此表现出很强的负相关性,且这种相关程度大于与降水的相关性,表明荒漠草原生长季逐月盖度对气温的敏感性要强于对降水的敏感性。但同样没有表现出时滞与累积效应。

4 结论与讨论

(1) 内蒙古温带草原区 1982—1999 年总体平均盖度呈微小的上升趋势,其中典型草原上升趋势较为明显,其次为草甸草原与荒漠草原;

(2) 整个温带草原有 72% 面积的区域盖度发生了增长,19.7% 面积的区域增长明显,典型草原东部、北部、西南部及荒漠草原中部盖度呈显著增加趋势;草甸草原东部及典型草原东北部有部分地区盖度显著减少,但面积远小于盖度增加区域的面积;

(3) 温带草原生长季平均盖度与降水呈显著正相关性,盖度对降水十分敏感。荒漠草原植被盖度是 3 种

草原类型中与降水的相关性最强的,说明水分是缺水的荒漠草原重要的生态限制因子。而在典型草原及草甸草原,由于降水充沛,水分条件不足以成为植被生长的限制性因子。与生长季等长的同期降水、生长季中期降水及夏季降水对温带草原及各草原类型生长季平均盖度有着显著的影响。在各草原类型中,降水对生长季平均盖度的影响均存在一定的时滞效应和累积效应;

(4) 温带草原生长季平均盖度与气温呈显著负相关性,但相关性小于与降水的相关性;荒漠草原生长季平均盖度是3种草原类型中与温度相关程度最高的,其中生长季同期均温、后期均温及夏季均温对生长季平均盖度的增加具有明显的抑制作用,这种抑制作用主要是通过对植被可利用水分的影响而起作用;典型草原气温对生长季植被平均盖度的影响并不明显;

(5) 温带草原生长季逐月植被盖度与逐月降水呈显著正相关关系,且随着生长季的推进,降水影响的时滞性和累积性逐渐增强。由此可以得知,在温带草原区,随着植被的生长,其对水分的依赖性越强;荒漠草原整个生长季各月盖度对降水均敏感,同样验证了水分在荒漠草原的生态限制性因子作用。而典型草原仅中后期盖度、草甸草原仅后期盖度与降水显著相关;

(6) 温带草原生长季逐月植被盖度与逐月气温呈显著负相关关系,但没有显著的时滞和累积效应,且相关性小于与逐月降水的相关性。荒漠草原整个生长季逐月盖度与气温均显著负相关,说明较高的气温会抑制荒漠草原植被盖度的增加,这种抑制性与荒漠草原地区干旱少雨,高温会加速植物蒸腾和土壤蒸发,进而抑制植被生长有关;而草甸草原生长季初期与中期植被盖度与气温显著负相关,而后期则呈显著正相关关系,表明生长季初、中期较高的气温不利于植被盖度的增加,而后期高温则促进盖度的增大,究其原因,生长季中期草甸草原降水量不大,较高的气温增加了植被蒸腾与地表蒸散,抑制植被生长,而后期草甸草原区降水量充沛,此时高温引起的强烈蒸腾与蒸散作用并不能减少植被生长所需的有效水量,高温多雨有利于植被的生长。

本文采用的是基于站点的植被盖度与气象因子的分析,目前的植被-气候关系的分析中,将气候因素进行插值后进行空间上的相关分析也较为常见。与后一种方法相比,基于站点的分析较为准确可靠,因为气象因素的插值过程会产生一定的误差。但这种方法的缺点也是显而易见的,其分析范围仅限于站点周围的有限距离,无法在连续空间上实现,以分散的站点推断整体区域的特性也具有一定的不确定性。另外,温度与降水是影响植被生长的最重要因素,两者是综合起作用的,本文进行了简化处理,单独建立降水、温度与植被盖度的关系;为了与降水进行对比,本文采用了均温的指标,而分析温度与植被生长的关系,采用全年或生长季的有效积温更加合理有效。

References:

- [1] Myneni R, Keeling C, Tucker C, Asrar G, Nemani R. Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981 to 1991. *Nature*, 1997, 386(6626): 698-702.
- [2] Kawabata A, Ichii K, Yamaguchi Y. Global monitoring of the inter annual changes in vegetation activities using NDVI and its relationships to temperature and precipitation. *International Journal of Remote Sensing*, 2001, 22(7): 1377-1382.
- [3] Gong D Y, Shi P J. Northern Hemispheric NDVI variations associated with large-scale climate indicates in spring. *International Journal of Remote Sensing*, 2003, 24(12): 2559-2566.
- [4] Nemani R, Keeling C, Hashimoto H, Jolly W, Piper S, Tucker C, Myneni R, Running S. Climate-driven increases in global terrestrial net primary production from 1982 to 1999. *Science*, 2003, 300(5625): 1560-1563.
- [5] Stow D, Daeschner S, Hope A, Douglas D, Petersen A, Myneni R, Zhou L, Oechel W. Variability of the seasonally integrated normalized difference vegetation index across the north slope of Alaska in the 1990s. *International Journal of Remote Sensing*, 2003, 24(5): 1111-1117.
- [6] Gonzalez-alonso F, Cuevas J, Calle A, Casanova J, Romo A. Spanish vegetation monitoring during the period 1987-2001 using NOAA-AVHRR images. *International Journal of Remote Sensing*, 2004, 25(1): 3-6.
- [7] Chen Y H, Li X B, Chen J, Shi P J. The change of NDVI time series based on change vector analysis in China, 1983-1992. *Journal of Remote Sensing*, 2002, 6(1): 12-18.
- [8] Piao S L, Fang J Y. Dynamic vegetation cover change over the last 18 years in China. *Quaternary Sciences*, 2001, 21(4): 294-302.
- [9] Sudipta S, Menas K. Inter annual variability of vegetation over the Indian sub-continent and its relation to the different meteorological parameters.

- Remote Sensing of Environment, 2004, 90(2): 268-280.
- [10] Sun H Y, Wang C Y, Niu Z, Bukhosor, Li B. Analysis of the vegetation cover change and the relationship between NDVI and environmental factors by using NOAA time series data. Journal of Remote Sensing, 1998, 2(3): 204-210.
- [11] Zhang Y X, Li X B, Zhang Y F. Determining vegetation cover based on field data and multi-scale remotely sensed data. Journal of Plant Ecology, 2007, 31(5): 842-849.
- [12] Zhang X S. Vegetation Map of China and Its Geographic Pattern. Beijing: Geological Publishing House, 2007.
- [13] Yu F, Price K, Ellis J. Response of seasonal vegetation development to climatic variations in eastern central Asia. Remote Sensing of Environment, 2003, 87(1): 42-54.
- [14] Ji L, Peters A. A spatial regression procedure for evaluating the relationship between AVHRR-NDVI and climate in the northern Great Plains. International Journal of Remote Sensing, 2004, 25(2): 297-311.
- [15] Townshend J, Justice C, Li W, Gurney C, Mcmanus J. Global land cover classification by remote sensing: Present capabilities and future possibilities. Remote Sensing of Environment, 1991, 35(2/3): 234-255.
- [16] Loveland T, Merchant J, Ohlen D, Brown J. Development of a land-cover characteristics database for the conterminous U. S. . Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1991, 57(11): 1453-1466.
- [17] Ehrlich D, Estes J, Singh A. Applications of NOAA-AVHRR 1 km data for environmental monitoring. International Journal of Remote Sensing, 1994, 15(1): 145-161.
- [18] James M, Kalluri S. The Pathfinder AVHRR land dataset: an improved coarse resolution data set for terrestrial monitoring. International Journal of Remote Sensing, 1994, 15(17): 3347-3363.
- [19] Smith P, Kalluri S, Prince S, DeFries R. The NOAA/NASA Pathfinder AVHRR 8km land dataset. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1997, 63(1): 12-31.
- [20] Gutman G, Ignatov A. The derivation of the green vegetation fraction from NOAA/AVHRR data for use in numerical weather prediction models. International Journal of Remote Sensing, 1998, 19(8): 1533-1543.
- [21] Zhang Y X, Zhang Y F, Li X B. Determining vegetation cover based on field data and multi scale remotely sensed data. Journal of Plant Ecology, 2007, 31(5): 842-849.
- [22] Li X, Li X B, Chen Y H, Ying G. Temporal responses of vegetation to climate variables in temperate steppe of Northern China. Journal of Plant Ecology, 2007, 31(6): 1054-1062.
- [23] Zhang X X, Ge Q S, Zheng J Q. Impacts and lags of global warming on vegetation in Beijing for the last 50 years based on remotely sensed data and phenological information. Chinese Journal of Ecology, 2005, 24(2): 123-130.

参考文献:

- [7] 陈云浩, 李晓兵, 陈晋, 史培军. 1983—1992 年中国陆地植被 NDVI 演变特征的变化矢量分析. 遥感学报, 2002, 6(1): 12-18.
- [8] 朴世龙, 方精云. 最近 18 年来中国植被覆盖的动态变化. 第四纪研究, 2001, 21(4): 294-302.
- [10] 孙红雨, 王长耀, 牛铮, 布和敖斯尔, 李兵. 中国地表植被覆盖变化及其与气候因子关系——基于 NOAA 时间系列数据分析. 遥感学报, 1998, 2(3): 204-210.
- [11] 张云霞, 李晓兵, 张云飞. 基于数字相机、ASTER 和 MODIS 影像综合测量植被盖度. 植物生态学报, 2007, 31(5): 842-849.
- [12] 张新时. 1:10000000 中华人民共和国植被图. 北京: 地质出版社, 2007.
- [21] 张云霞, 张云飞, 李晓兵. 基于数字相机、ASTER 和 MODIS 影像综合测量植被盖度. 植物生态学报, 2007, 31(5): 842-849.
- [22] 李霞, 李晓兵, 陈云浩, 莺歌. 中国北方草原植被对气象因子的时滞响应. 植物生态学报, 2007, 31(6): 1054-1062.
- [23] 张学霞, 葛全胜, 郑景全. 近 50 年北京植被对全球变暖的响应及其时效——基于遥感数据和物候资料的分析. 生态学杂志, 2005, 24(2): 123-130.